Einfluß des Thermalwassers von Badgastein auf die Kohlensäureassimilation verschiedener Wasserpflanzen

Von

Franz Bukatsch

(Mit 3 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 21. Jänner 1937)

In Anbetracht der Heilerfolge, die den Gasteiner Thermalquellen seit Jahrhunderten nachgerühmt werden, und ihrer besonderen Eigenart, die sie nur mit wenigen anderen Quellen der Erde teilen, ist es verständlich, daß sie seit langem das Interesse der Heilkunde und Naturwissenschaft auf sich zogen. Während aber noch im vergangenen Jahrhundert die Anteilnahme der Wissenschaft vorwiegend spekulativer Art war, versucht die moderne Naturwissenschaft, vermöge ihres raschen Fortschrittes wohl auch mit Aussicht auf Erfolg, durch exakte Versuchsanstellung Vermutungen durch Tatsachen zu ersetzen.

Die im Jahre 1900 von E. Ludwig und Panzer durchgeführte chemische Analyse des Thermalwassers ergab einerseits einen besonders niedrigen Gehalt an gelösten Stoffen, anderseits das Vorhandensein ungewöhnlicher, sonst kaum in Quellen vorkommender Substanzen. Heinrich Mache stellte 1905 als ganz besondere Eigenart die Radioaktivität der Thermen fest, Untersuchungen, welche er später gemeinsam mit Stefan Meyer und Bamberger auf breiter Basis weiterführte.

Da nun die Wirkung der Gasteiner Thermen auf den lebenden Organismus vor allem ins Gewicht fällt, lag es nahe, die Wirkung des Wassers dieser eigenartigen Quellen an Lebewesen überhaupt, Pflanzen wie Tieren, zu erproben. An Hand von Versuchen mit Radiumpräparaten und solchen anderer radioaktiver Stoffe wurden eigentümliche tiefgreifende Einflüsse auf die Lebenstätigkeit verschiedener Organismen schon frühzeitig festgestellt. Um nur einige botanische Arbeiten herauszugreifen, seien diejenigen von Körnicke (1904/05) und Molisch (1912) angeführt.

So nimmt es eigentlich wunder, daß die Heranziehung der seit 1905 bekannten naturgegebenen Radioaktivität des Gasteiner Thermalwassers zu exakten biologischen Untersuchungen erst relativ spät erfolgt ist.

Im Jahr 1927 veröffentlichte der Gasteiner Arzt Ob.-Med.-Rat Schneyer Versuche über die Hormonbeeinflussung von Kaulquappen

durch das Thermalwasser, im folgenden Jahr erschienen von Stockmeyer Beiträge zur »Biologie der Mineralquellen«, in denen auch die Algenflora der Gasteiner Thermen Berücksichtigung fand. Auf breiter Basis wurden um 1930 von Stoklasa und vielen Mitarbeitern, von denen besonders Penkava zu erwähnen ist, Versuche über die biologischen Wirkungen radioaktiver Stoffe durchgeführt. Hiebei wurden auch die natürlich radioaktiven Wässer, vor allem die Böhmens, aber auch die Badgasteins in die Versuche einbezogen. Ihren Niederschlag fanden diese Arbeiten in dem großen Werk »Biologie des Radiums und Uraniums« (1932), in welchem auch mit großem Fleiß die bis dahin vorhandene Literatur zusammengestellt erscheint.

Um gleich der in vorliegender Mitteilung behandelten Frage näherzukommen, sei erwähnt, daß Stoklasa in dem genannten Werk anführt, daß nach seinen Versuchen die Alphastrahlung des Radons eine Hemmung der Photosynthese, dagegen eine Steigerung der Atmung der grünen Pflanzen hervorrufe (gerade umgekehrt wirken die Gammastrahlen). Auch Penkava legte erst jüngst auf dem Internat. Hydrologentag 1936 in Badgastein in einem Vortrag Gedanken ähnlicher Art dar. Gerke (mündliche Mitteilung) erhielt in seinen Versuchen über die Photosynthese von *Elodea* im Gasteiner Thermalwasser mit Hilfe der Blasenzählmethode keine Abscheidung von gasförmigem Sauerstoff durch die belichtete Pflanze, was ebenfalls im Sinne einer Assimilationshemmung gedeutet werden konnte; wir werden später noch darauf zurückkommen.

Im Gegensatz dazu stellte Schiller während des Sommers 1934 an Algen *(Spirogyra, Tribonema)* und am Wasserhahnenfuß nicht nur besseres Wachstum im Thermalwasser — gegenüber Leitungswasserkultur — fest, sondern konnte auch regelmäßig größere Anhäufung von Stärke, also eines unmittelbar durch die Photosynthese erzeugten Speicherstoffes, in den »Thermalwasser-Pflanzen« feststellen. Schiller vermutet in seiner durch Zeichnungen und ausdruckvollen Mikrophotographien illustrierten Arbeit als Ursache des erhöhten Wachstums und Stärkespeicherung eine Förderung der Aufbauprozesse durch die radioaktiven Eigenschaften des Thermalwassers und bedauert, zur Durchführung der Parallelversuche als exakte Gegenprobe nicht emanationsfreies Thermalwasser, sondern nur Leitungstrinkwasser zur Verfügung gehabt zu haben. Außerdem betont der genannte Autor in seiner Arbeit mit Recht, daß ein exakter Beweis für die aus der Stärkespeicherung erschlossene Assimilationsförderung erst dann gegeben sei, wenn erwiesen werden könnte, daß unter gleichen Bedingungen die Atmung nicht etwa gehemmt erscheine. Denn so könnte sich bei gleicher Bildung, aber geringerer Veratmung der Assimilate eine allmähliche Anhäufung derselben ergeben.

Neuerdings (1936) erschien von Kosmath-Hartmair-Gerke eine Arbeit, in der an Hand von pflanzenphysiologischen Versuchen

ein merklicher Einfluß der Gasteiner Milieufaktoren auf Lebewesen in Abrede gestellt wird.

Wenn wir nun den Stand der bisher gewonnenen Ergebnisse betrachten, einerseits Behauptung hemmender, anderseits fördernder Wirkungen, schließlich Leugnung irgendeines direkten, merklichen Einflusses der Radioaktivität Gasteins, erscheint es wohl gerechtfertigt, die an sich bedeutungsvolle Frage über die Beeinflussung der aufbauenden und abbauenden Stoffwechselvorgänge durch das Thermalwasser auf einem anderen, bisher nicht beschrittenen Weg anzugehen: dies war der Zweck der vorliegenden Untersuchung.

Methodik.

Zur Bestimmung der Intensität der Photosynthese stehen im allgemeinen drei Wege offen, welche mutatis mutandis auch zur Atmungsbestimmung brauchbar sind:

1. Messung der zur Assimilation verbrauchten CO_2-Menge,
2. Bestimmung der entstandenen Sauerstoffmenge und
3. Feststellung der Menge gebildeter Assimilate.

Während die beiden erstgenannten Methoden sich relativ leicht quantitativ gestalten lassen, begegnet dies bei der letztgenannten Methode bedeutenden Schwierigkeiten, wenn wir von der bekannten historischen, aber mit ziemlichen Unsicherheiten behafteten Blatthälftenmethode absehen. Je nachdem, ob man die Photosynthese von Land- oder Wasserpflanzen untersucht, wird man nun der erst-, beziehungsweise zweitgenannten Methode den Vorzug geben: für Landpflanzen ist die Feststellung von Änderungen der Kohlensäuremenge empfehlenswerter, wenn diese auch in der eleganten Modifikation in Form der Ruttner'schen Leitfähigkeitbestimmung (Ruttner, 1926) sehr gut für submerse Pflanzen geeignet erscheint. Für Wasserpflanzen finden aber im allgemeinen Sauerstoffbestimmungsmethoden Anwendung. Unter diesen wieder ist die Blasenzählmethode die einfachste und älteste, aber auch am wenigsten zuverläßlichste. Als sehr genaue und einwandfreie Methoden kommen aber hier in Betracht: die manometrische Sauerstoffpartialdruckbestimmung nach Warburg (1919) und die Bestimmung des im Wasser gelösten Sauerstoffes nach Winkler. Der letztgenannten Methode bedienten wir uns auch in unseren Versuchen.

Zwei möglichst gleichartige und gleichgroße Mengen der Versuchspflanzen (durchwegs Wasserpflanzen) gelangten in etwa 50 cm^3 fassende, flache Glasküvetten. Die eine Kammer wurde nun jeweils mit dem zu untersuchenden Wasser (abgekühltem Thermalwasser, beziehungsweise entemaniertem Thermalwasser), die andere zur Kontrolle mit Wasser aus der Gemeinde-Trinkwasserleitung beschickt. Die beiden Kammern wurden sodann auf einer weißlackierten, in einem wassergefüllten Glasaquarium langsam gedrehten Scheibe befestigt und durch die Glaswand hindurch mit einer

125 *Dlm* liefernden Osram-»*D*«-Lampe belichtet, und zwar so, daß sich der Glühfaden in der Verlängerung der Scheibendrehachse 20 *cm* von der Scheibe entfernt befand; es wurden 10 *cm* Wasserschichte durchstrahlt. Die Anordnung veranschaulicht Fig. 1. Bezüglich der Angaben weiterer Einzelheiten, insbesondere auch über die Vorteile der Drehscheibenanordnung, sei auf die 1935 erfolgte Publikation des Verfassers verwiesen.

Die Bestimmungen wurden in Reihen von je vier bis fünf aufeinanderfolgenden Assimilationsversuchen mit darauffolgendem Atmungsversuch in der Regel bei einer Temperatur von 12 oder 14° C. durchgeführt. Nach jedem Einzelversuch wurde das Wasser aus

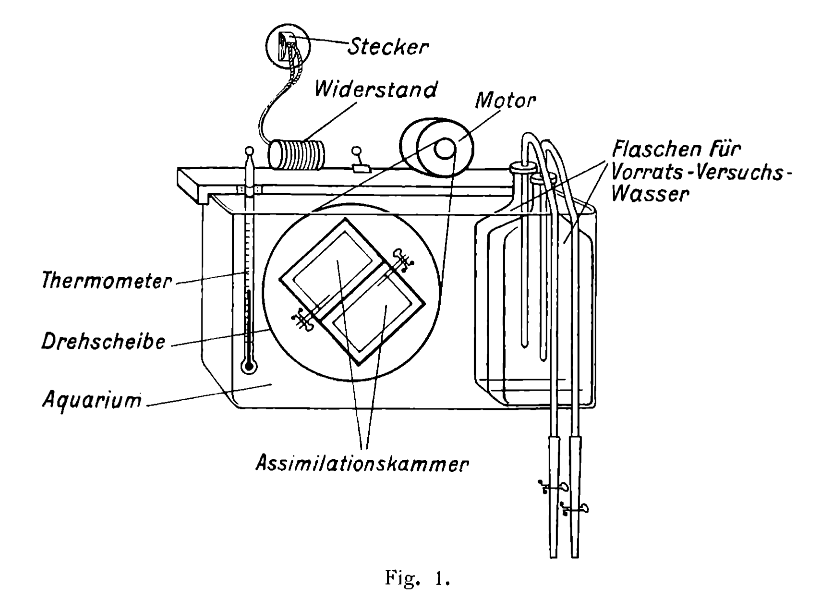


Fig. 1.

den Kammern in kleine 35 cm^3 fassende Glasstopfenfläschchen luftblasenfrei gefüllt und nach der üblichen Winkler-Methodik weiter behandelt.[1]

Infolge der Reinheit der Versuchswässer konnte die Modifikation nach Alsterberg entfallen. Die sich ergebenden Differenzen des Sauerstoffwertes gegenüber dem Ausgangswert vor dem Versuch wurden stets auf 100 *mg* Trockengewicht der Versuchspflanzen und 15 Minuten Versuchsdauer umgerechnet.

Das verwendete Thermalwasser wurde einfach der Badgasteiner Thermalwasserleitung entnommen, stellte also sogenanntes »Mischwasser« aus verschiedenen Quellen dar.[2] Es wurde, ohne viel mit Luft in Berührung zu kommen (kleine Oberfläche, um Radonverluste tunlichst zu vermeiden), gekühlt und sogleich zu den Versuchen

---

1 Vgl. Abderhalden, Handb. d. biochem. Arbeitsmeth., I/3.

2 Mittlere Radioaktivität etwa 50 M.-E. (± 10%).

verwendet. So erklären sich auch die gefundenen geringeren Sauerstoffgehalte des Thermalwassers gegenüber dem gewöhnlichen »Vergleichswasser« aus der Gemeindetrinkwasserleitung.

Mittlerer Sauerstoffgehalt des Thermalmischwassers. . 4·26 $cm^3/1\,l$
(Mittelwert aus 14 Best.)

Mittlerer Sauerstoffgehalt des Trinkwassers (Leitungswassers) . 6·74 $cm^3/1\,l$
(Mittelwert aus 18 Best.)

Wenn man bedenkt, daß das Thermalwasser mit über 40° C. aus der Leitung kommt und dann unter möglichster Fernhaltung der Luft gekühlt wurde, ist die Untersättigung an Sauerstoff wohl verständlich. Gleichzeitig besteht aber auch der Verdacht, daß im Thermalwasser auch der Gehalt an gelöster Kohlensäure gegenüber dem Vergleichswasser wesentlich verringert sei. Direkte Bestimmungen wurden nicht durchgeführt, wohl aber einer Assimilationsversuchsreihe mit *Spirogyra* probeweise 1 ‰ $NaHCO_3$ als ergänzende CO_2-Quelle zugesetzt: das betreffende Versuchsprotokoll sei hier vollständig wiedergegeben, zugleich als Muster eines solchen, da in der Folge der Kürze halber nur die Mittelwerte der Einzelergebnisse der Reihen angeführt werden sollen.

Tabelle I.

Protokoll des Versuches 2 (20. VIII. 1936).

Spirogyra 1. Leitungs- u. Thermalwasser versetzt mit 1 ‰ $NaHCO_3$.

Art u. Dauer d. Versuche	Temp. in °C.	Verbrauch cm^3 n./100 $Na_2S_2O_3$		Vers.-Pfl., Trockengewicht	Mittelwerte für 100 *mg* Trockengew., 15^m Versuchsdauer
		absolut	Diff.geg.Was.		
Leitungswas.	12·5	1·81 (1·82)		42 *mg*	
15^m Assim.	12·5	2·86	1·04		Assim.-Überschuß
15^m	12·5	3·37	1·55		3·38 cm^3
15^m	12·5	3·38	1·56		Atmung. 0·28 cm^3
15^m	12·5	3·30	1·48		
15^m	12·5	3·29	1·47		Totalassim. 3·66 cm^3
30^m Atmung	12·5	1·58	—0·24		
Leitungswas.	12·5	1·82	—		
Thermalwas..	12·5	1·36 (1·37)	—	43 *mg*	
15^m Assim.	12·5	2·45	1·08		Assim.-Überschuß
15^m	12·5	2·94	1·57		3·50 cm^3
15^m	12·5	2·99	1·62		Atmung. 0·31 cm^3
15^m	12·5	2·99	1·62		
15^m	12·5	2·84	1·47		Totalassim. 3·81 cm^3
30^m Atmung	12·5	1·10	—0·27		
Thermalwas..	12·5	1·38 (1·37)	—		

Vergleicht man diese Werte mit den ohne Bicarbonatzusatz ceteris paribus gewonnenen,[1] so fällt die beträchtliche Steigerung der Assimilationsleistung durch die künstliche Kohlensäurezufuhr sofort

[1] Vgl. Tab. II, p. 9.

auf, zugleich erweist sich aber auch sogar in noch höherem Maß die Assimilation im gewöhnlichen »Leitungswasser« gefördert.

Totalassimilation (Atmung in Klammern).

	In Leitungswasser	In Thermalwasser
Mit Bicarbonatzusatz	.3·66 (0·28)	3·81 (0.31)
Ohne	1·62 (0·18)	2·19 (0·19)

Somit ergibt sich für die Kohlensäure eine gewisse Stellung als »begrenzender« Faktor im Sinne Blackman's, für Thermalwasser allerdings nicht stärker als für das gewöhnliche Trinkwasser (die Analyse von Ludwig gibt für das Thermalwasser einen ungefähren Normalgehalt an gelöster Kohlensäure an).

Die Herstellung des entemanierten Thermalwassers für die Versuche erfolgte derart, daß durch das Mischwasser aus der Thermalleitung, 2 Tage lang Luft durchgeblasen wurde, so daß diese beim Aufperlen das Radon aus dem Wasser fast zur Gänze fortführte, der kleine verbleibende Rest zerfiel schon nach kurzem Stehen praktisch vollständig. Betont sei, daß dem Wasser nur die Emanation entrissen wurde, während ihm die wenn auch geringe Radioaktivität gelöster Spuren von Radium- und Thoriumsalzen verblieb, so daß diese für die später zu schildernden Ergebnisse mitverantwortlich gemacht werden können.

A. Versuche mit Normalgehalt an Emanation und Temperaturen von 12 bis 14° C.

Spirogyra sp.

Die Versuchspflanze stammte aus fast strömungslosem, abgeschnürtem Teile der Gasteiner Ache aus der Au zwischen Bad- und Hofgastein. Dort bildeten die Fäden in geringen Tiefen des klaren Wassers tief grüne Watten aus einheitlichem Material. Die mikroskopische Betrachtung ergab eine Form mit nur einem Spiralband pro Zelle und mittlerer Zellfadenbreite. Da Zygotenbildung nicht beobachtet wurde, war eine genaue Bestimmung nicht möglich, doch handelt es sich höchstwahrscheinlich um dieselbe oder doch eine sehr ähnliche Art, wie sie Schiller 1935 als *Spirogyra flavesens* beschrieb.

Abgesehen von dem schon erwähnten Versuch 2 mit Bicarbonatzusatz wurde stets ohne Zusätze gearbeitet.

In folgendem Versuch 3 wurde die Assimilationsleistung und Atmung in Leitungs- und entemaniertem Thermalwasser bei 14° untersucht. (Um den fortlaufenden Text nicht zu unterbrechen, bringen wir eine Zusammenstellung der Ergebnisse aller Versuche am Ende dieses Abschnittes in Tabellenform.) Auch hier wieder zeigte sich die vom Verfasser (1935) beschriebene Erscheinung, daß trotz gleicher Außenbedingungen die aufeinanderfolgend gewonnenen Assimilationswerte nicht konstant bleiben, sondern daß sich ein

anfänglicher Anstieg deutlich ausprägt. Diesem kann unter Umständen in der 4. und 5. Bestimmung wieder ein schwaches Absinken der Werte folgen. In der Tabelle ist deshalb immer der Mittelwert angeführt, nebst der Zahl von Einzelbestimmungen, aus denen er gewonnen wurde.

Als bemerkenswertes Ergebnis dieses Versuches zeigte sich die Assimilation im radonfreien Thermalwasser gegenüber dem Leitungswasser deutlich (um fast 20%) erhöht, während die Atmung vollständig unbeeinflußt blieb.

Im Vergleichsversuch: Leitungswasser—Thermalwasser (Versuch 10), ergab sich eine noch etwas deutlichere Erhöhung der Photosynthese im Thermalwasser (35%), wobei die Atmung nur innerhalb der Fehlergrenzen der Bestimmung gelegene Unterschiede aufwies, also praktisch wieder unverändert blieb.

Fontinalis antipyretica.

Dieses Moos fand sich ebenfalls in der Au zwischen Bad- und Hofgastein in einem kleinen Zufluß der Gasteiner Ache. Die zu den Versuchen verwendeten Sprosse wurden schon einige Tage vorher abgetrennt und im langsam fließenden Leitungswasser aufbewahrt, wodurch die Ausschaltung eines etwaigen Wundschocks gewährleistet wurde. *Fontinalis* erwies sich als ausdauerndes, recht verläßliches Versuchsmaterial, so daß nicht nur die gleichzeitig durchgeführten Parallelbestimmungen, sondern auch die einzelnen Versuchsreihen verschiedener Tage gut vergleichbare Werte ergaben. Die in der Tabelle zusammengestellten Ergebnisse lassen erkennen, daß auch hier im radonfreien Thermalwasser gegenüber Leitungswasser ein Assimilationsgewinn zu verzeichnen ist, der im Thermalwasser noch etwas übertroffen wird. Die Atmung erfährt auch hier in den verschiedenen Wässern keinerlei Änderung. Die an sich geringen Assimilationsüberschüsse (bezogen auf gleiches Trockengewicht) sind geringeren Schwankungen unterworfen als bei *Spirogyra.* Auch ergeben sich innerhalb einer Versuchsreihe unter gleichen Bedingungen keine Anstiege des Assimilationswertes wie bei *Spirogyra* beschrieben und wie sie auch Harder (1930) für *Fontinalis* feststellte, sondern konstantes Verhalten.

Die Gleichmäßigkeit in der Reaktionsweise ließ es auch geboten erscheinen, an *Foutinalis* Sonderversuche über den Einfluß künstlich gesteigerter Radonmengen auf Photosynthese und Atmung durchzuführen, wovon in einem späteren Kapitel dieser Arbeit berichtet werden soll.

Vaucheria sp.

Vaucheria stammte aus einem kleinen Tümpel der Ache-Au, unterhalb von Badgastein. Die Fäden waren relativ spröd und brachen schon bei Biegung oder leichtem Zug. Die Alge stellt demgemäß ein wenig günstiges, sehr empfindliches Material dar.

Wie aus der Zusammenstellung der Ergebnisse ersichtlich (Tabelle 2), fällt das Verhalten von *Vaucheria* aus dem Rahmen der anderen Objekte insoferne heraus, als gerade bei ihr Totalassimilation[1] wie Atmung im Thermalwasser gegenüber Leitungswasser herabgesetzt sind, gleichgültig, ob das Thermalwasser Radon enthält oder nicht. Eine Erklärung für diese Erscheinungen steht vorläufig noch aus. Auch bedarf es hier in Anbetracht der Empfindlichkeit der Pflanze einer breiteren Versuchsbasis, um sichere Schlüsse ziehen zu können. Im Zusammenhang ist aber erwähnenswert, daß *Vaucheria* unter unseren Versuchspflanzen die einzige darstellt, die als Assimilationsprodukt nicht Stärke, sondern Öl bildet. Vielleicht wird in Weiterverfolgung dieses Unterschiedes in künftigen Versuchen ein Weg zur Klärung dieser Frage gezeigt.

Elodea densa.

Die Untersuchung dieser Pflanze war aus zwei Gründen von besonderem Interesse:

1. Stellt sie unter den Wasserpflanzen einen besonders hohen Entwicklungstyp dar (monokotyle Blütenpflanze),
2. war sie in den Versuchen Gerke's, wenn auch mit negativem Erfolg, schon Objekt zu Assimilationsbestimmungen im Thermalwasser.

Da sich *Elodea* im Gasteiner Gebiet nicht findet, wurden die Pflanzen aus Wien bezogen. Nach Auswahl geeigneter Sprosse wurden diese abgetrennt und wie bei *Fontinalis* beschrieben behandelt. Ein anderer Teil der Sprosse wurde gleich nach Lostrennung mit der Bruchstelle nach oben in Eprouvetten mit Leitungs-, beziehungsweise gekühltem Thermalwasser gesenkt und aus 20 *cm* Entfernung mit 125 *Dlm* beleuchtet: Tatsächlich konnte in Übereinstimmung mit Gerke nur an den Pflanzen im Leitungswasser das Aufsteigen von Gasbläschen beobachtet werden.

Die Sauerstoffbestimmungen (siehe folgende Tabelle) zeigten jedoch in klarer Weise nicht nur Sauerstoffproduktion im Thermalwasser, sondern es war ähnlich wie schon bei *Spirogyra* und *Fontinalis* festgestellt, die Photosynthese im radonfreien und noch etwas stärker im normalen Thermalwasser gesteigert. Die Atmung erfuhr keine Veränderung.

Da, wie eingangs erwähnt, das gekühlte Thermalwasser an Sauerstoff untersättigt gefunden wurde, ergibt sich für das Ausbleiben der Blasenbildung eine zwanglose Erklärung: der bei der Photosynthese entwickelte Sauerstoff diffundiert einfach aus den zarten, kaum kutikularisierten Blättchen ins umgebende Thermalwasser, wo er begierig gelöst wird.

Es folgt nun die Zusammenstellung der bisher besprochenen Versuche in Tabelle 2.

---

[1] Im Assimilations-Überschuß drückt sich der Unterschied kaum

Tabelle 2.

Übersicht über die Ergebnisse der vorbeschriebenen Versuche.

Pflanze, Standort	Vers.-Reihe Nr.	Temp. in °C.	Zahl der Bestimmungen der Assimilation	Mittelwerte für 100 *mg* Trockengewicht und 15 Min. Versuchsdauer								
				Leitungswasser			enteman. Thermalwasser			Thermalwasser		
				Assimil.-Übersch.	Atmg.	Total-Assimil.	Assimil.-Übersch.	Atmg.	Total-Assimil.	Assimil.-Übersch.	Atmg.	Total-Assimil.
Spirogyra	3	14·0		1·92	0·30	2·22	2·33	0·30	2·63	—	—	—
(Ache-Au)	10	14·0		1·44	0·18	1·62	—	—	—	2·00	0·19	2·19
Fontinalis	4	13·0	4	0·10	0·04	0·14	—	—	—	0·15	0·03	0·18
(Ache-Au)		12·0	4	0·10	0·04	0·14	0·13	0·04	0·17	—	—	—
Vaucheria	8	14·0	4	0·37	0·27	0·64	—	—	—	0·37	0·22	0·59
(Ache-Au)	9	14·0	4	0·21	0·21	0·42	0·22	0·15	0·37	—	—	—
Elodea	13	12·0	4	0·09	0·08	0·17	0·12	0·07	0·19	—	—	—
(Wien)	14	14·0		0·16	0·02	0·18	—	—	—	0·20	0·02	0·22

Bemerkungen zu Tabelle 2:

In dieser wie in der vorhergehenden Tabelle sind, da es sich nur um Vergleichswerte handelt, die Mengen verbrauchter Kubikzemtimeter norm./100 $Na_2S_2O_3$-Lösung für je 15 *cm*³ Wasserprobe angegeben; multipliziert man diese Werte mit dem Faktor 3·74, erhält man die dementsprechende Anzahl Kubikzentimeter O_2/1 *l*. (Faktor 3·74: 1 *cm*³ norm./100 $Na_2S_2O_3$. .0·056 *cm*³ O_2; da nur 15 *cm*³ titriert wurden, entspricht einem Liter der 66·67fache Wert.)

Wenn wir von dem Sonderverhalten von *Vaucheria* absehen, ergeben sich für die übrigen Objekte (*Spirogyra*, *Fontinalis*, *Elodea*) im Verhalten gewisse Gemeinsamkeiten aus Tabelle 2:

a) Gesteigerte Photosynthese im Thermalmilieu; auch schon, wenn auch etwas geringer in radonfreiem Thermalwasser,

b) keine merkliche Veränderung der Atmung.

Unsere Versuche stehen im guten Einklang mit den Ergebnissen von Schiller (1936) und können diese noch in zwei Belangen erweitern:

1. Konnte festgestellt werden, daß nicht nur das Radon für die Erhöhung der Photosynthese allein maßgebend ist, da eine solche auch im entemanierten Wasser auftritt, sei es nun, daß bestimmte noch zu findende chemische Komponenten des Wassers dafür verantwortlich sind, oder die noch nach dem Quirlen verbleibende Radioaktivität der gelösten Radium- und Thoriumverbindungen. Schließlich wird am Schluß der Mitteilung noch von Viskositätsänderungen des Plasmas von *Spirogyra* im Thermalwasser die Rede sein, die auch zur Erklärung herangezogen werden könnten.

2. Ließ sich zeigen, daß die von Schiller beobachtete Stärkespeicherung nicht, wie vom genannten Autor allenfalls auch vermutet, auf eine Senkung der Atmung, sondern vielmehr auf eine deutliche Förderung der Photosynthese zurückzuführen ist.

Mit diesen Feststellungen stehen wir aber im Gegensatz zur Auffassung von Stoklasa und Penkava (1932), welche unter dem Einfluß der Alphastrahlung (beim Radon des Thermalwassers handelt es sich ja fast ausschließlich um eine solche) eine Steigerung der oxydativen Prozesse bei gleichzeitiger Hemmung der reduktiven Vorgänge beobachteten. Da die Ergebnisse der genannten Forscher vorwiegend an Landpflanzen gewonnen wurden, sollen künftig in Badgastein ausgedehnte derartige Versuche auch an Landpflanzen durchgeführt werden.

B. Versuche mit Normalgehalt an Emanation bei höheren Temperaturen (24°, 33° C.).

Zweck dieser Versuche war, festzustellen, wie das Thermalwasser Assimilations- und Dissimilationsvorgänge bei höheren Temperaturen beeinflußt. Dieser Frage kommt beim Thermalwasser deswegen Bedeutung zu, weil es ja von Natur aus warm zutage tritt und zumeist auch so Verwendung findet. Nun kommt aber kaum eines unserer pflanzlichen Versuchsobjekte unter natürlichen Verhältnissen jemals mit warmem Thermalwasser in Berührung. Da jedoch einmal, und zwar im Ausfluß der Grabenbäckerquelle, das allerdings spärliche Auftreten von *Spirogyra* im lauen Thermalwasser festgestellt werden konnte,[1] wurde *Spirogyra* als Versuchs-

[1] Wir verdanken unsere Feststellung dem freundlichen Entgegenkommen des Besitzers der Quelle, Bäckermeister Ludwig. Schurk.

objekt gewählt. Es wurden allerdings Watten aus der Ache-Au (wie oben beschrieben) in den Versuch genommen, da das Material aus dem Thermalabfluß nicht hinreichte und teilweise auch durch Blaualgen für unsere Zwecke zu stark »verunreinigt« war. Das von uns verwendete Material erwies sich jedoch als recht wärmeempfindlich, da es schon bei 33° C. so starke Assimilationsdepressionen aufwies, wie sie selbst an den von uns untersuchten, typisch auf Kaltwasser eingestellten Spirogyren des Lunzer Mittersees nicht festgestellt werden konnten (vgl. Bukatsch, l. c.).

Bei 24° ergibt sich aber gegenüber den 14°-Werten eine teils durch die Temperatur bedingte Steigerung der Photosynthese und der Atmung im Leitungs- wie auch Thermalwasser. Auffallend ist die verhältnismäßig geringere Förderung im Thermalwasser, wenn auch der Absolutwert im Thermalwasser den im Leitungswasser erzielten an Größe übertrifft (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3.

Temperaturabhängigkeit der Assimilation und Atmung von *Spirogyra*.

Vers.-Nr.	Temp.	Zahl der Best.	Mittelwerte für 100 *mg* Trockengewicht u. 15 Min. Vers.-Dauer					
			Leitungswasser			Thermalwasser		
			Assimil.-Übersch.	Atmg.	Total-Assimil.	Assimil.-Übersch.	Atmg.	Total-Assimil.
10	14·0	5	1·44	0·18	1·62	2·00	0·19	2·19
11	24·0	5	2·00	0·34	2·34	2·20	0·35	2·55
12	33·0	5	0·06	0·36[1]	0·42	0·05	0·31[1]	0·36

[1] Auffallender Unterschied in der Atmungsgröße! Ein solcher trat während aller übrigen Versuche nicht auf; eine geringere Differenz ergab die Atmung nur noch im anfangs beschriebenen »Bicarbonat«-Versuch mit *Spirogyra* (Tab. 1).

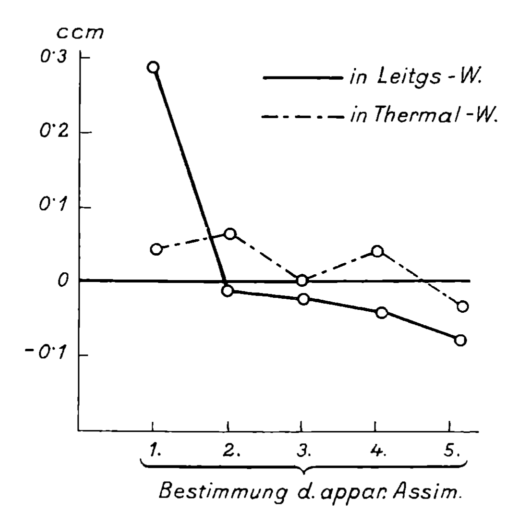


Fig. 2.

Im Intervall von 14 bis 24° ist demnach Qu_{10} der Photosynthese für Leitungswasser 1·44; für Thermalwasser 1·16, also auffallend klein, während das Qu_{10} der Atmung im Leitungswasser 1·89, im Thermalwasser 1·85 beträgt, was kaum einen Unterschied ausmacht. Die in Tabelle 3 wiedergegebenen Mittelwerte der Assimilation bei 33° weisen im Thermalwasser geringere Größe als im Leitungswasser auf, geben allerdings keinen Einblick in das eigenartige Verhalten her Versuchspflanzen in den Einzelbestimmungen der 33°-Reihe. Es seien daher hier die einzelnen Zahlenwerte dieser Reihe nebst einer noch anschaulicheren kurvenmäßigen Darstellung wiedergegeben (Tabelle 4 und Fig. 2).

Tabelle 4.

Versuch 12, *Spirogyra*, Assimilation in Leitungs- und Thermalwasser bei 33° C.

Kammerfüllung	Aufeinanderfolgende Bestimmungen	Temp.	cm^3 n./100 Th.	Diff. in cm^3
50 *mg* Trockengewicht	Leitungswasser	33° C.	1·27	—
	15m Assimilation	33	1·56	0·29
	15	33	1·26	—0·01
	15	33	1·25	—0·02
	15	33	1·23	—0·04
	15	33	1·20	—0·07
	30m Atmung	33	0·91	—0·36
	Leitungswasser	33	1·27	—
48 *mg* Trockengewicht	Thermalwasser	33° C.	1·21	—
	15m Assimilation	33	1·26	0·05
	15	33	1·27	0·06
	15	33	1·22	0·01
	15	33	1·25	0·04
	15	33	1·18	—0·03
	30m Atmung	33	0·91	—0·30
	Thermalwasser	33	1·21	—

Wir ersehen daraus, daß die schädigende Wirkung der hohen Temperatur, die sich im rapiden Sturz des Assimilationswertes im Leitungswasser ausdrückt, im Thermalwasser kaum ausgeprägt, zumindest stark gebremst erscheint (während im Leitungswasser schon der Wert der zweiten Bestimmung die Null-Linie unterschreitet, geschieht dies im Thermalwasser erst beim 5. Wert). Die schädigende Wirkung hoher Temperaturen wird also im Thermalwasser anscheinend weitgehend hintangehalten.

(Diese Versuche bedürfen entsprechender Ergänzung, beziehungsweise Ausdehnung auf andere Pflanzen. Dies soll im kommenden Arbeitsjahr am Forschungsinstitut Badgastein durchgeführt werden.)

C. Versuche mit künstlich erhöhtem Radongehalt.

In den vorbeschriebenen Versuchen ergaben sich bei *Spirogyra*, *Fontinalis* und *Elodea* Anhaltspunkte dafür, daß das Radon

in der im normalen Thermalwasser vorhandenen Konzentration gegenüber der fördernden Wirkung des entemanierten Thermalwassers an sich eine weitere Steigerung der Photosynthese bewirke; man vergleiche Assimilationsförderungen im radonfreien und normalen Thermalwasser in Prozenten, bezogen auf die im Leitungswasser gefundenen Werte (wie sie eine einfache Umrechnung aus Tabelle 2 ergibt):

Tabelle 5.

Versuchs-Nr.		Pflanze	Veränderung d. Totalassim. gegenüber Leitungsw.	
			in enteman. Thermalw.	in Thermalwasser
3.	10	*Spirogyra*	+ 18·4%	+ 35·0%
	4	*Fontinalis*	+ 21·5	+ 28·5
13.	14	*Elodea*	+ 11·7	+ 22·2

In den folgenden Versuchen sollte geprüft werden, ob und in welchem Sinn eine höhere als natürlich in Gastein vorkommende Radonkonzentration die Photosynthese beeinflusse. Als Objekt wurde *Fontinalis* gewählt.

Es wurden entemaniertem Thermalwasser ganz kleine Mengen hochkonzentrierter Radonlösung derart zugefügt, daß der Radongehalt des Versuchswassers etwa den 20- bis 200fachen Normalwert erreicht. Da der Gehalt des Thermalmischwassers sich auf rund 50 M. E. beläuft, wurden die Zusätze so gewählt, daß also etwa 1000 und 10.000 M. E. resultierten. Die verwendete Radonlösung stammte aus der Wiener dermatologischen Universitätsklinik. Zum Vergleich wurde immer durch Quirlen entemaniertes Thermalwasser herangezogen.

Die folgende Zusammenstellung (Tabelle 6) gibt die Ergebnisse der Versuche wieder.

Tabelle 6. *Fontinalis.*

Vers.-Nr.	Temp. °C	Zahl der Best.	Mittelwerte f. 100 *mg* Trockengewicht u. 15 Min. Versuchsdauer						
			radonfreies Thermalwasser			Thermalw. mit erhöhtem Radongehalt			
			Assimil.-Übersch.	Atmg.	Total-Assimil.	Assimil.-Übersch.	Atmg.	Total-Assimil.	Radon
6	14·0	4	0·09	0·04	0·13	0·12	0·04	0·16	20fach
	14·0	4	0·13	0·03	0 16	0·16	0·04	0·20	200fach

Die Assimilation wird durch die erhöhten Radongaben weiterhin beträchtlich gefördert: bei zirka 1000 M. E. beträgt gegenüber entemaniertem Thermalwasser die Steigung 23%, bei 10.000 M. E. 25%. (Im Vergleich zu Leitungswasser müßte sie nach dem Vor-

hergesagten noch entsprechend höher angenommen werden.) Die Atmung zeigt auch unter dem Einfluß dieser höheren Radonkonzentration keine wesentliche Veränderung.

Es scheint aus diesen Versuchen hervorzugehen, daß, zumindest für unsere Versuchspflanze, die im Thermalwasser natürlich vorhandene Radonmenge den aufbauenden Stoffwechsel wohl deutlich fördert, die Optimalkonzentration jedoch noch nicht erreicht. Es bleibt künftigen Versuchen vorbehalten, die Lage des Radonoptimums für die Photosynthese der einzelnen Versuchsobjekte festzustellen.

D. Zur Frage nach den Ursachen der Thermalwasserwirkung auf die Photosynthese.

Das Ergebnis unserer Versuche läßt sich vorläufig dahin zusammenfassen, daß — wie schon Schiller (1935) vermutete — das Radon einen fördernden Einfluß auf die Kohlensäureassimilation unserer Versuchspflanzen, mit Ausnahme von *Vaucheria*, zu haben scheint. Weiter konnten wir aber zeigen, daß auch das radonfreie Thermalwasser gegenüber Leitungswasser eine Erhöhung der Photosynthese zu bewirken vermag. Man könnte diese Wirkung auf die trotz Quirlen noch im Wasser verbleibende Radioaktivität oder auf den stimulierenden Einfluß bestimmter, im Wasser vorhandener Spuren biologisch wirksamer Elemente, wie Arsen, Bor, Fluor, Gold usw., zurückführen, deren Vorhandensein aus den Angaben von Ludwig (1900) und Imhof (1936) erwiesen erscheint. Auch der hypotonische Charakter des Wassers wäre in Erwägung zu ziehen.

Es kann nun eine unmittelbar chemische Wirkung der erwähnten Stoffe vorliegen oder eine mittelbare, nämlich über irgendwelche physiko-chemischen Veränderungen des Protoplasmas.

Zur Beleuchtung der letztgenannten Möglichkeit seien hier einige Versuche angeführt, die mit *Spirogyra* vorgenommen wurden.

Es wurden Teile ein und derselben frisch vom Standort geholten homogenen Algenwatte in Gefäße mit Wiener und Gasteiner Leitungswasser, entemaniertem und gewöhnlichem Thermalwasser eingetragen. Nach 48 Stunden wurde je eine Probe aus den einzelnen Gefäßen entnommen und gleichzeitig in einer Schulmeister-Elektrozentrifuge bei 3000-Touren/*min* 15 Minuten zentrifugiert. Unter dem Mikroskop wurden dann die Verlagerungen der Chlorophyllbänder in den Zellen festgestellt. Infolge der verschiedenen Lage der Zellfäden während des Zentrifugierens ergaben sich auch verschiedenartige Verlagerungen innerhalb jeder einzelnen Probe. Im Gesamtbild ließen sich aber zwischen dem Material aus den verschiedenen Wässern Unterschiede feststellen. Es wurden von jeder Probe zwei Gesichtsfeder im Mikroskop durchgezählt und dabei die Zahl festgestellt von Fäden mit:

sehr stark (++) verlagertem Inhalt (weniger als 1/2 des Zelllumens einnehmend);

stark (+) verlagertem Inhalt (etwa die Hälfte des Zellumens einnehmend);

wenig (+—) verlagertem Plasma (mehr als die Hälfte des Zellumens ausfüllend);

kaum merklich (—) verlagertem Inhalt.

Dabei ergab sich folgendes Resultat:

Tabelle 7.

Zentrifugierversuche mit *Spirogyra*, 48 Stunden in verschiedenen Wässern vorkultiviert. Zentrifugierungsdauer: 15 Min. bei 3000 T./*min*.

Vorkultur in	Stärke der Plasmaverlagerung			
	++	+	+—	—
Wiener Leitungswasser .	14%	26%	26%	34%
Gasteiner .	18	18	41	23
Enteman. Thermalmischwasser ..	22	18	43	17
Thermalmischwasser .	33	31	23	13

Wenn wir die erste und die letzte Kolonne betrachten (Tabelle 7), zeigt sich deutlich, daß im Thermalwasser stärkere Verlagerungen auftreten als im Leitungswasser, was auf eine Verringerung der Viskosität des Protoplasmas im Thermalwasser schließen läßt. Die Herabsetzung der Plasmazähigkeit ermöglicht wieder rascheren Stoff(Gas)austausch und es könnte auf diese Art vielleicht zu einer Förderung der Stoffwechseltätigkeit beigetragen werden. Immerhin reicht dieser Umstand allein nicht zur Erklärung unserer Versuchsergebnisse aus, da wir wohl an der Assimilation, also an einer Komponente des aufbauenden Stoffwechsels, Förderungen feststellen konnten, dies jedoch nicht am abbauenden, d. i. an der Atmung.[1]

Zum Schluß seien noch zwei Mikrophotogramme von zwei zentrifugierten Spirogyrenproben, und zwar aus Gasteiner Leitungswasser (links) und Thermalmischwasser (rechts) dargestellt, welche die Unterschiede in der Stärke der Zellinhaltsverlagerung gut erkennen lassen (Fig. 3 und 3*a*; Proben 15 Min. bei 3000 *T*/*min* zentrifugiert).

---

[1] Die Reihenfolge der Wässer in Tabelle 7, Wiener Leitungswasser—Gasteiner Leitungswasser—Thermalmischwasser, entspricht einer Reihe mit abnehmendem Kalkgehalt, so daß es naheliegt, für die Viskositätsverminderungen des Plasmas auch den geringeren Kalkgehalt mitverantwortlich zu machen; außerdem zeigt sich aber noch eine Viskositätsabnahme im normalen Thermalwasser gegenüber entemaniertem Thermalwasser, welche sich nur durch den Radongehalt erklären läßt.

Zusammenfassung.

Mit Hilfe der Sauerstoffbestimmungsmethode nach Winkler wurde an den Algen *Spirogyra* und *Vaucheria*, dem Moos *Fontinalis* und der monokotylen Wasserpflanze *Elodea* das Ausmaß der Photosynthese und Atmung im Gasteiner Leitungswasser sowie im gekühlten Thermalmischwasser und durch Quirlen entemanierten Thermalmischwasser untersucht.

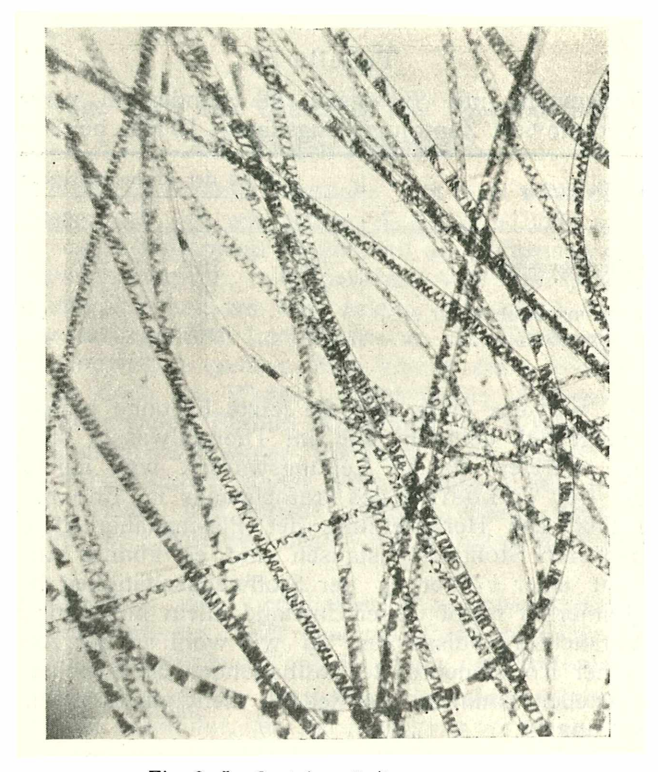


Fig. 3. In Gasteiner Leitungswasser.

Die Höhe des Assimilationswertes kann bei verschiedenen Proben derselben Pflanze selbst bei anscheinend ganz konstanten Außenbedingungen ziemlich schwanken, so daß nur gleichzeitig nebeneinander mit Teilen desselben Materiales durchgeführte Versuche unmittelbar vergleichbar sind. (So wurde in den vorbeschriebenen Versuchen die Wirkung von zwei verschiedenen Wässern jeweils an zwei mit gleichem Material gleichzeitig durchgeführten Versuchsreihen geprüft.) Die Versuche bedürfen noch der eingehenden Fortsetzung und Erweiterung, welche im kommenden Jahr am Forschungsinstitut Badgastein erfolgen soll. Die bisherigen Ergebnisse seien etwa wie folgt zusammengefaßt:

1. Die Versuchspflanzen verhielten sich verschieden: *Spirogyra, Fontinalis* und *Elodea* zeigten im Thermalmilieu erhöhte Photosynthese, während bei *Vaucheria* im Thermalwasser sowohl CO_2-Assimilation wie Atmung gegenüber Leitungswasser herabgesetzt erscheinen.

Die Assimilationsförderungen an den erstgenannten Versuchspflanzen ergeben sich auch im radonfreien Thermalwasser, allerdings im geringeren Maß als im normalen Thermalwasser.

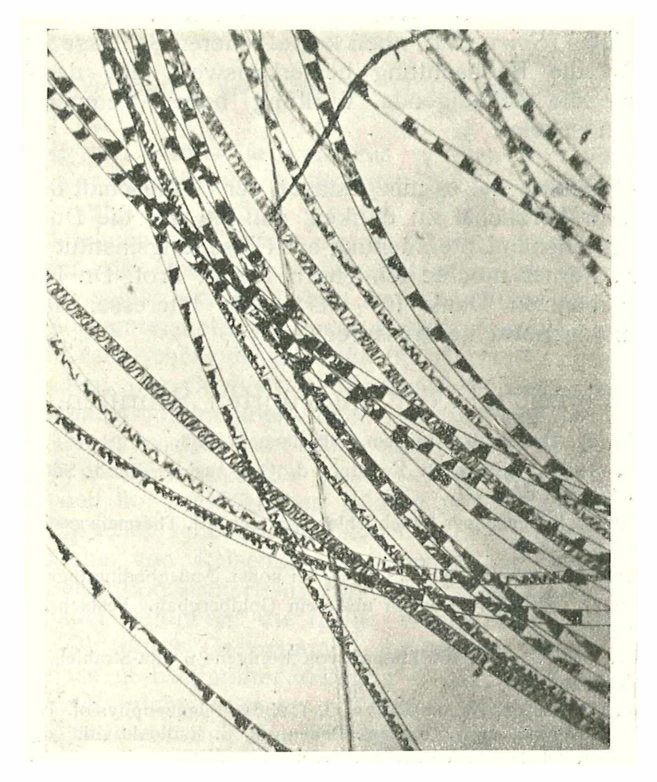


Fig. 3*a*. In Thermalwasser.

Die Förderung ist demnach eine komplexe Erscheinung, die nicht nur auf dem Radongehalt, sondern auch noch auf anderen besonderen Eigenschaften des Thermalwassers beruht.

3. Möglicherweise ist die an den Zentrifugierversuchen mit *Spirogyra* aufgezeigte Verminderung der Plasmazähigkeit durch das Thermalmilieu für die Förderung der Photosynthese mitverantwortlich zu machen, insoferne, als durch diese Verringerung der Plasmaviskosität der Stoffaustausch erleichtert würde.

4. Aus der weiteren Zunahme der Assimilationswerte von *Fontinalis* bei künstlichen Radonzusätzen zum Thermalwasser ergibt sich, daß der Radongehalt des Thermalmischwassers die

für die Photosynthese (von *Fontinalis*) optimale Konzentration nicht erreicht.

5. Die Atmung erfährt normalerweise bei *Spirogyra, Fontinalis* und *Elodea* (auffallenderweise) im Thermalwasser keine nennenswerte Änderung gegenüber dem Wert im Leitungswasser. Auch erhöhte Radongaben bei *Fontinalis* bleiben ganz ohne Einfluß auf die Atmung.
6. Die Versuche bei höheren Temperaturen (24°, 33°) lassen infolge der großen Wärmeempfindlichkeit des verwendeten Materiales (*Spirogyra*) noch keine sicheren Schlüsse zu; immerhin ist die Beobachtung bemerkenswert, daß das Thermalwasser die schädigende Wirkung hoher Temperaturen zu mildern scheint.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, der Gesellschaft der Freunde Gasteins dafür herzlichst zu danken, daß sie mir die Durchführung der vorbeschriebenen Untersuchung am Forschungsinstitut Badgastein ermöglichte. Ferner möchte ich Herrn Hofrat Prof. Dr. H. Molisch meinen ergebensten Dank für das große Interesse, das er den Arbeiten entgegenbrachte, aussprechen.

Verzeichnis der angeführten Schriften.

Abderhalden E., Handb. d. Biochem., Arbeitsmeth., I/3.

Bukatsch F. (1935), Beitrag z. Kenntnis d. CO_2-Assim. durch Süßwasseralgen. Jahrb. f. wiss. Bot., *81*.

Gerke O. (1936), Badgasteiner Badebüchlein (daraus zit. Thermalwasseranalyse von Ludwig u. Panzer).

Harder R. (1930), Über die Assim. d. CO_2 bei konst. Außenbedingungen (Planta 11).

Imhof K. (1936), 500 Jahre Gastein und sein Goldbergbau. Festschr. »500 Jahre Badgastein«.

Körnicke W. (1905), Über Wirkungen von Röntgen- u. Ra-Strahlen auf Pflanzen. Ber. d. D. Bot. Ges., *23*.

Kosmath W., Hartmair V. u. Gerke O. (1936), Pflanzenphysiol. Beitrag z. Beurteilung d. biol., bzw. balneol. Bedeutung d. Radioaktivität der Kur von Badgastein. Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-naturw. Kl., Abt. I, Bd. 145.

Mache H. (1905), Über die Radioaktivität österr. Thermen. Phys. Zeitschr., 6. Jhg.

Molisch H. (1912), Über den Einfluß der Radiumemanation auf höhere Pflanzen. Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-naturw. Kl., Abt. I, Bd. 121.

— (1912), Über das Treiben der Pflanzen mit Radiumbestrahlung. Ebenda.

Schiller J. (1935), Kulturversuche mit höheren und niederen Pflanzen im Gasteiner Thermalwasser, I., Biol. Gen., *11*.

Schneyer J. (1927), Biol. Untersuchungen über hormon. Wirkungen d. Badgasteiner Thermalquellenwassers. Zeitschr. f. wiss. Bäderkunde, *12*.

Stoklasa J. u. Penkava J. (1932), Biologie des Radiums und Uraniums. Parey-Berlin.

Warburg O. (1919), Über d. Geschw. d. photosynth. CO_2-Zersetzung in leb. Zellen. Biochem. Zeitschr., *100*.